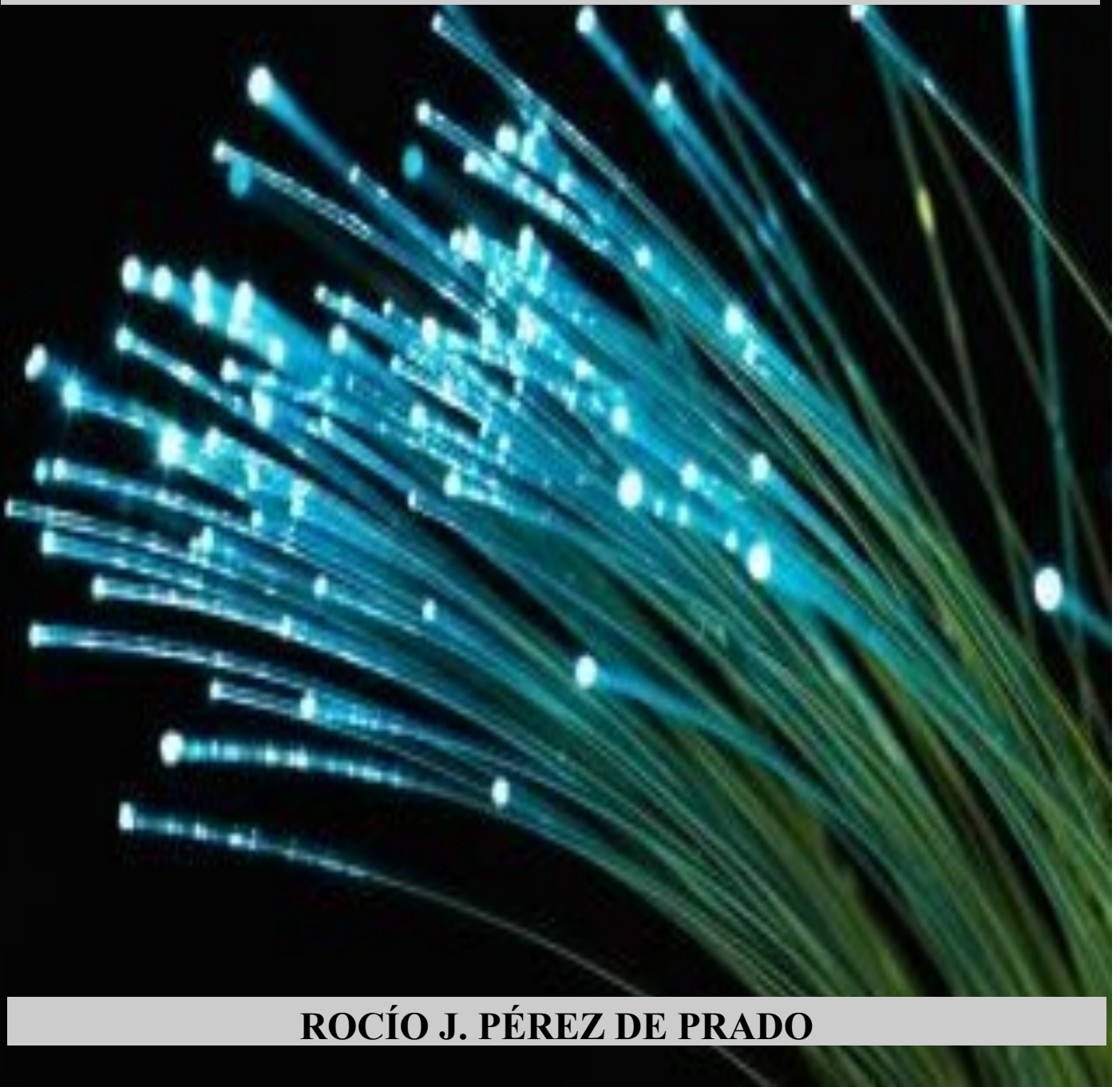




Comunicaciones ópticas I.

Manual de prácticas



ROCÍO J. PÉREZ DE PRADO



MANUAL DE PRÁCTICAS.

COMUNICACIONES ÓPTICAS 2012-2013

**Departamento Ingeniería de Telecomunicación.
Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones.**

PROFESOR: Rocío J. Pérez de Prado.

ÍNDICE:

- 1. Práctica 1 : ESTUDIO DE LA PROPAGACIÓN DE MODOS LP EN FIBRAS DE SALTO DE ÍNDICE.**
- 2. Práctica 2 : FUNDAMENTOS DEL ENTORNO DE SUMULACIÓN OPTSIM 5.1.**
- 3. Práctica 3 : ESTUDIO DE LOS EFECTOS NO LINEALES EN FIBRAS ÓPTICAS.**
- 4. Práctica 4 : MEDIDA DE LA DISPERSIÓN EN FIBRA ÓPTICAS MEDIANTE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA ELÉCTRICA.**
- 5. Práctica 5 : REDES DE BRAGG COMO COMPENSADORES DE LA DISPERSIÓN.**



PRÁCTICA 1.
ESTUDIO DE LA PROPAGACIÓN DE MODOS LP EN FIBRA SALTO DE
ÍNDICE.

COMUNICACIONES ÓPTICAS 2012-2013.

Departamento Ingeniería de Telecomunicación.
Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones.

En esta primera práctica se estudiarán los diferentes modos de propagación en una fibra óptica de salto de índice mediante su diseño. Para ello, se utiliza la aplicación modosLP.exe.

Como dicha aplicación indica, para la inicialización habrá que introducir un valor del radio del núcleo de la fibra. Inicialmente considere un valor de $4.7\mu\text{m}$. Conteste a las siguientes preguntas de forma razonada y analítica cuando proceda:

1. Indique si la fibra es monomodo o multimodo. Obtenga su longitud de corte. Modificando el valor de la frecuencia de trabajo considere operación multimodo:
 - a. Represente todos los modos LP que se propagan. Indique cuales son los modos exactos.
 - b. Indique qué modo estará más confinado y cuál lo estará menos. Justifíquelo según la teoría. Represente algunos modos donde se aprecie la diferencia de confinamiento.
 - c. Considere para el modo fundamental cuando estará más confinado en función de la frecuencia normalizada. Justifíquelo según la teoría. Representelo para diferentes valores de V .
 - d. Se desea que la fibra sea monomodo para las tres ventanas de transmisión. Especifique qué cambios realizaría.
2. Para que la fibra sea multimodo para las ventanas de transmisión, se cambia el radio del núcleo a $31.10\mu\text{m}$. Manteniendo los parámetros modificados según su criterio en el apartado 1.d:
 - a. Compare el número de modos LP propagados para las tres ventanas, con los datos obtenidos con la expresión aproximada.
 - b. Represente los modos más y menos confinados, para diferentes valores de V .



PRÁCTICA 2.

FUNDAMENTOS DEL ENTORNO DE SUMULACIÓN OPTSIM 5.1

COMUNICACIONES ÓPTICAS 2012-2013.

Departamento Ingeniería de Telecomunicación.

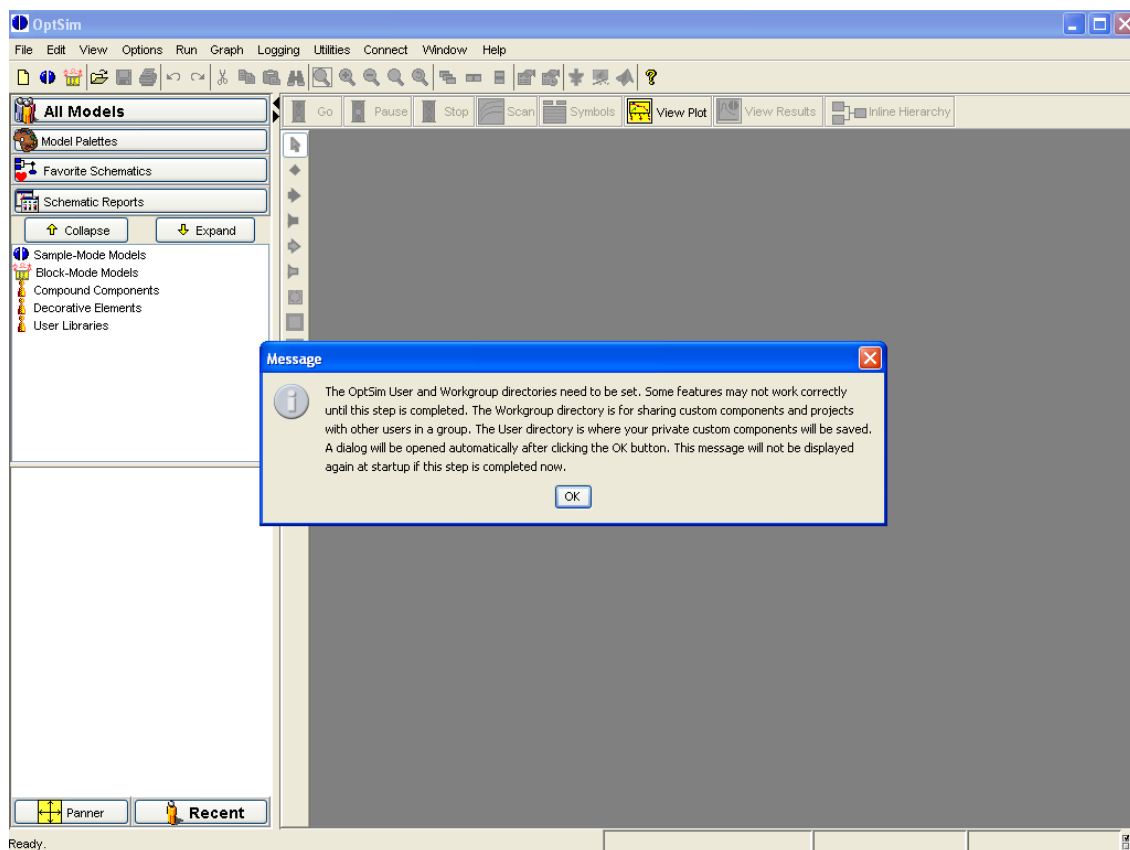
Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones.

En esta segunda práctica vamos a realizar una introducción al entorno de simulación específico para comunicaciones ópticas, y que utilizaremos para la realización de la mayor parte de las prácticas. Para una consulta más profunda sobre el funcionamiento del simulador, el alumno puede consultar el manual de usuario disponible en “Illias”

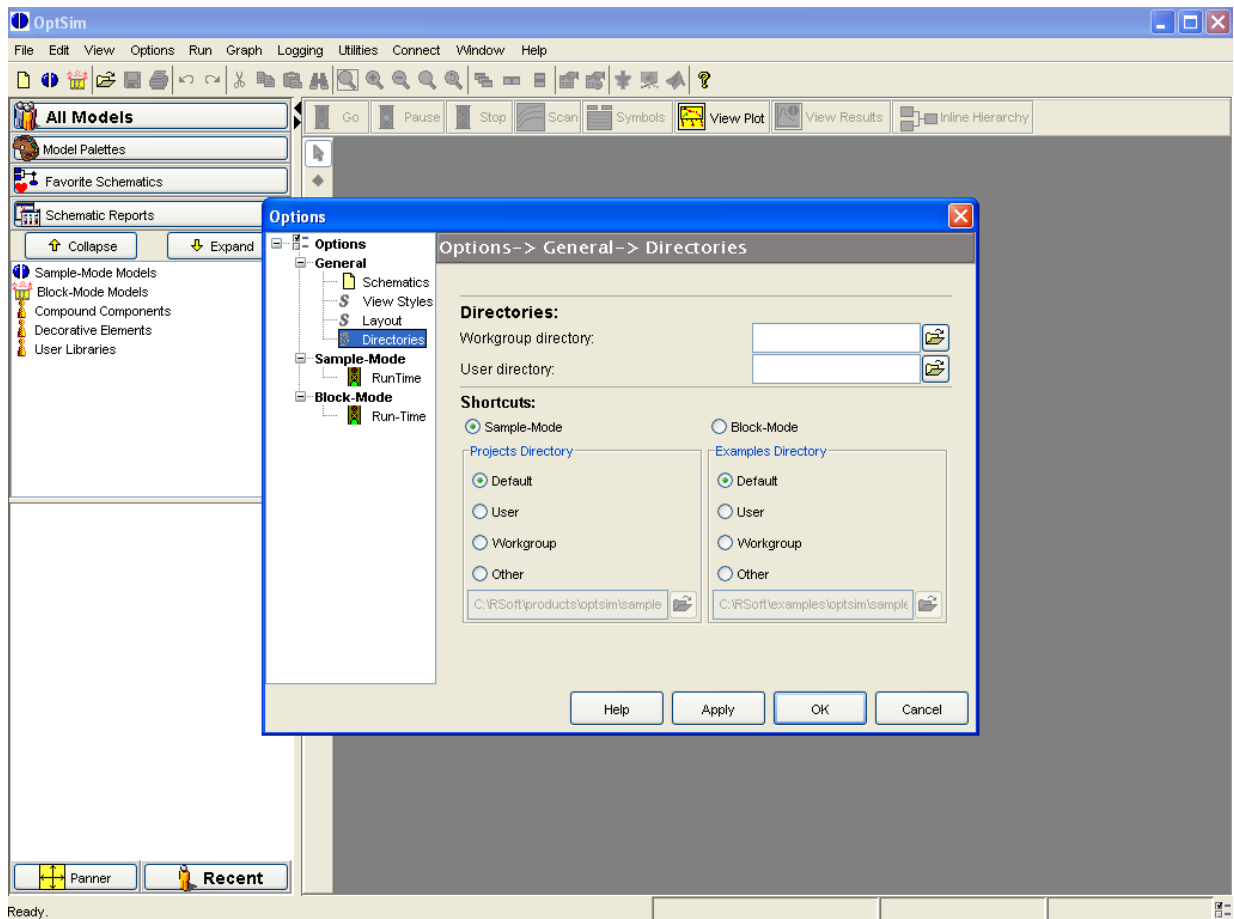
El simulador de comunicaciones ópticas utiliza dos modos de funcionamiento, dependiendo de lo que necesitemos. Estos son “Sample mode” y Block mode”. Ambos pueden simular sistemas equivalentes, sin embargo, en “simple mode” las posibilidades de utilizar modulaciones, diferentes fuentes láser y otros componentes en comunicaciones sobre fibra monomodo, son mayores que en “block mode”. Sin embargo, en este último, tenemos la posibilidad de simular sistemas multimodo con mayores posibilidades que en “simple mode”.

Para ilustrar el funcionamiento de ambos modos, se utilizan dos sistemas de comunicación óptica. Dichos sistemas están contruidos, por lo que el alumno debe realizar otro sistema igual sobre un nuevo fichero.

Cuando se arranca el simulador por primera vez aparece la siguiente ventana:

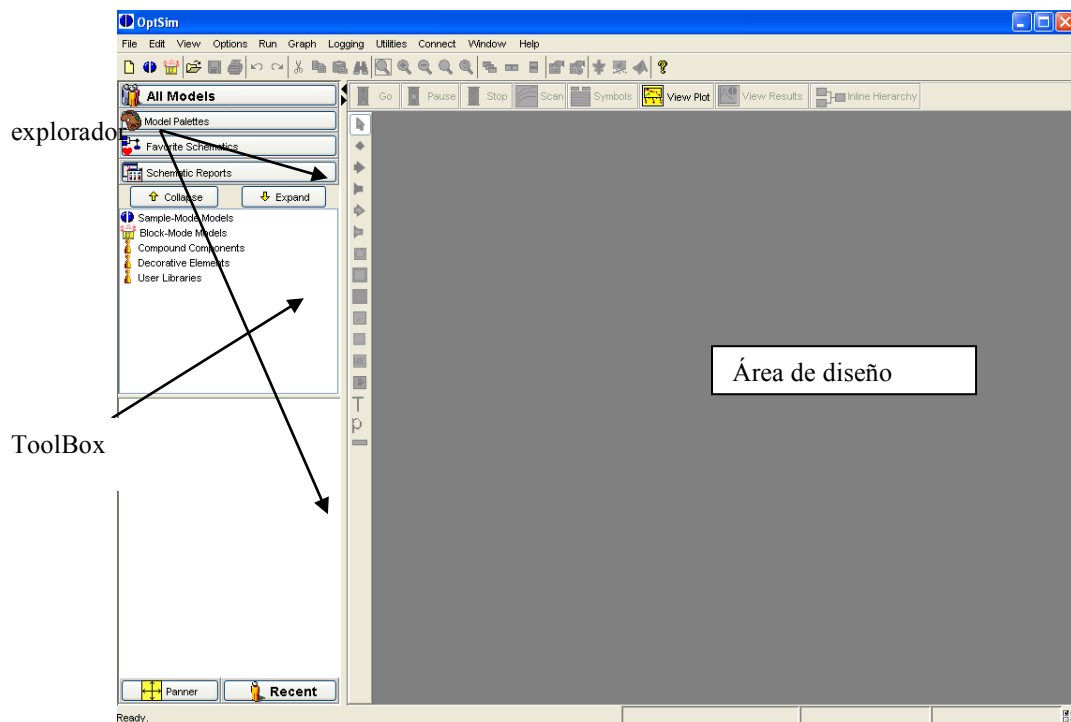


que nos indica que hay que seleccionar los directorios de trabajo mediante la siguiente ventana:

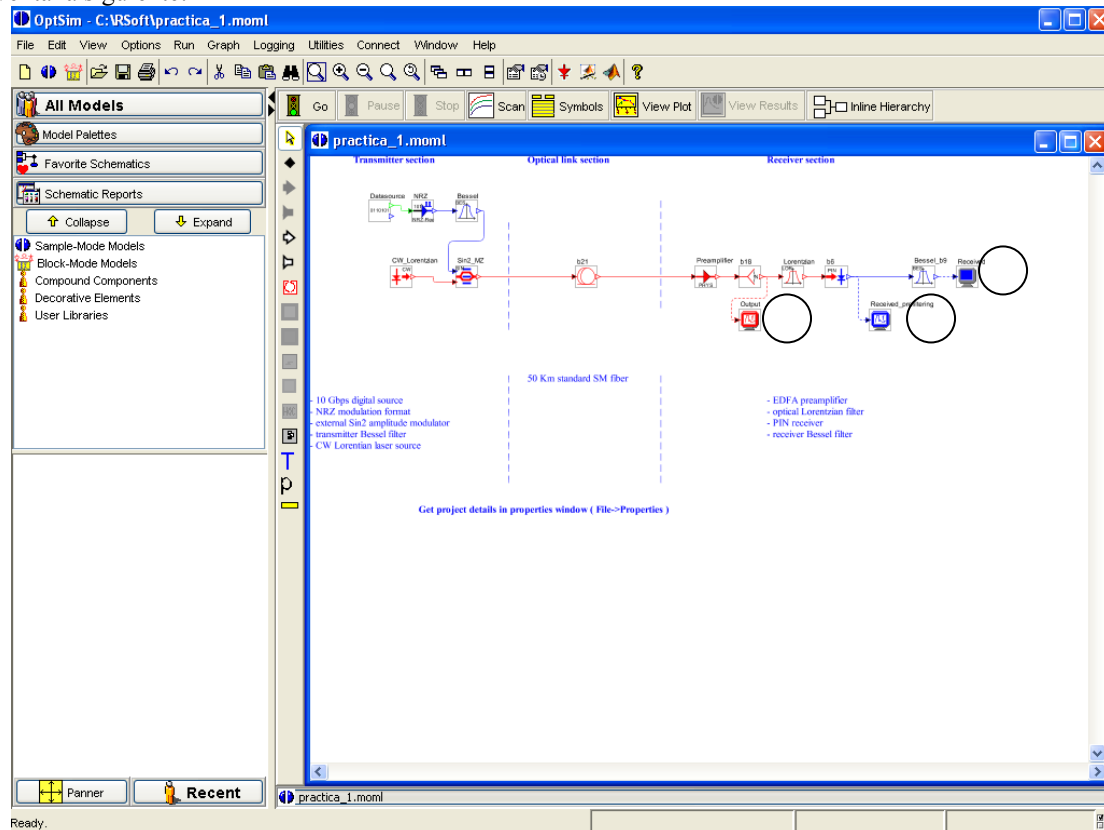


colocaremos los directorios de trabajo en grupo y usuario que deseemos. Este proceso sólo se realiza una vez, por lo que no aparecerá si ya se ha realizado.

Una vez hecho esto, aparecerá la pantalla del editor gráfico:

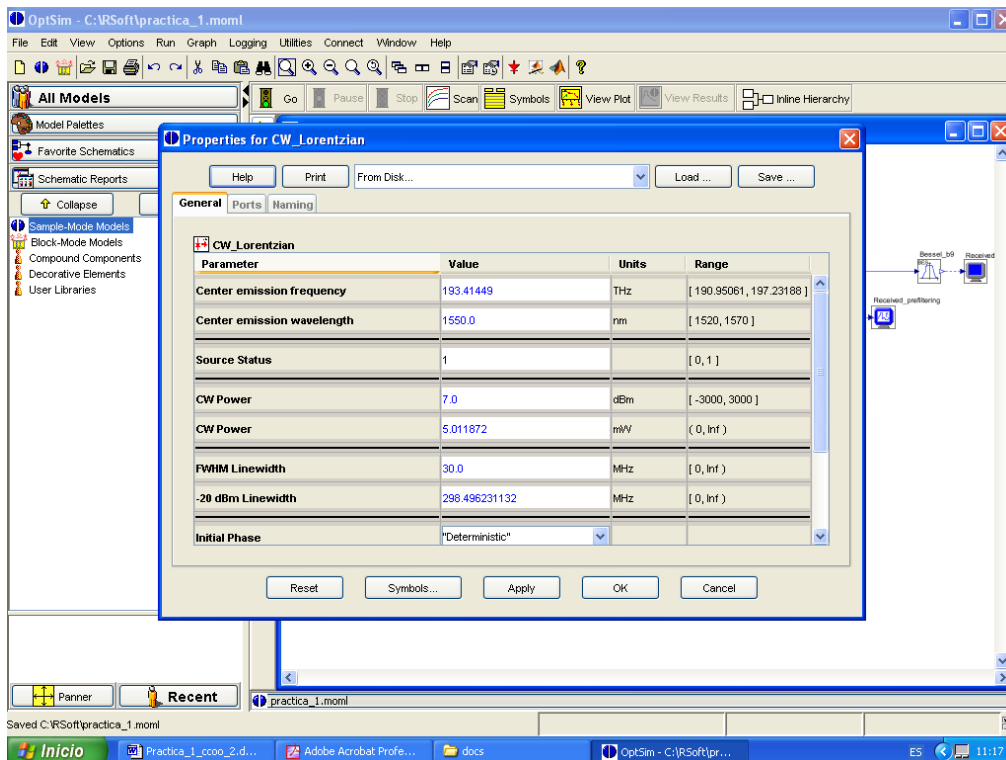


Una vez hecho esto, abrimos el fichero “practica_1.moml” disponible en “Illias”. Aparecerá la ventana siguiente:



Se trata de un sistema de transmisión digital de 10 Gbps sobre 50 Km de fibra monomodo estandar. Se aprecian diferentes componentes, unos de color rojo y otros de color azul. Los primeros se refiere a componentes ópticos, y los segundos a componentes eléctricos. Existe otro tipo de componente, no representado en este sistema, de color negro perteneciendo éstos a componentes lógicos.

Podemos ver las características de los diferentes componentes haciendo doble clic sobre ellos. Los componentes incluidos en círculos, son componentes de medida, que nos permitirán posteriormente, ver los resultados de la simulación. Si lo hacemos sobre el láser de onda continua (Lorentzian CW), aparecerá la siguiente pantalla:



donde aparecen los parámetros generales del bloque seleccionado.

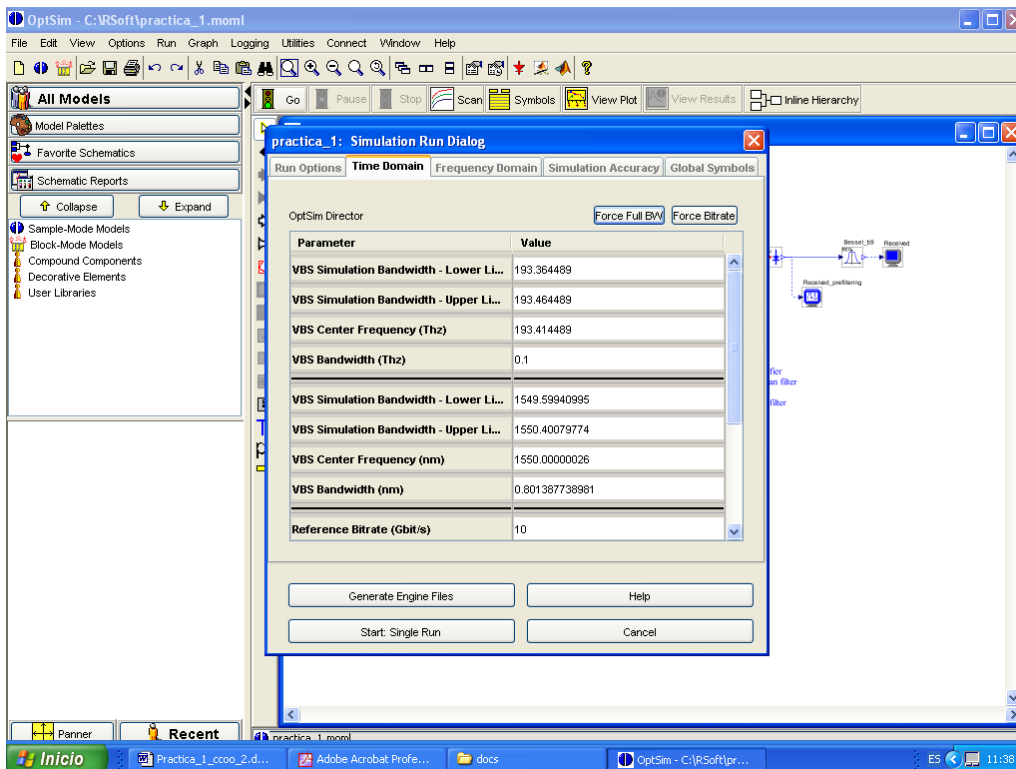
De esta forma se pueden explorar cada uno los componentes.

En este punto, se puede simular el sistema seleccionando bien: “run $\Rightarrow$ go” ó “F5” ó haciendo click sobre el



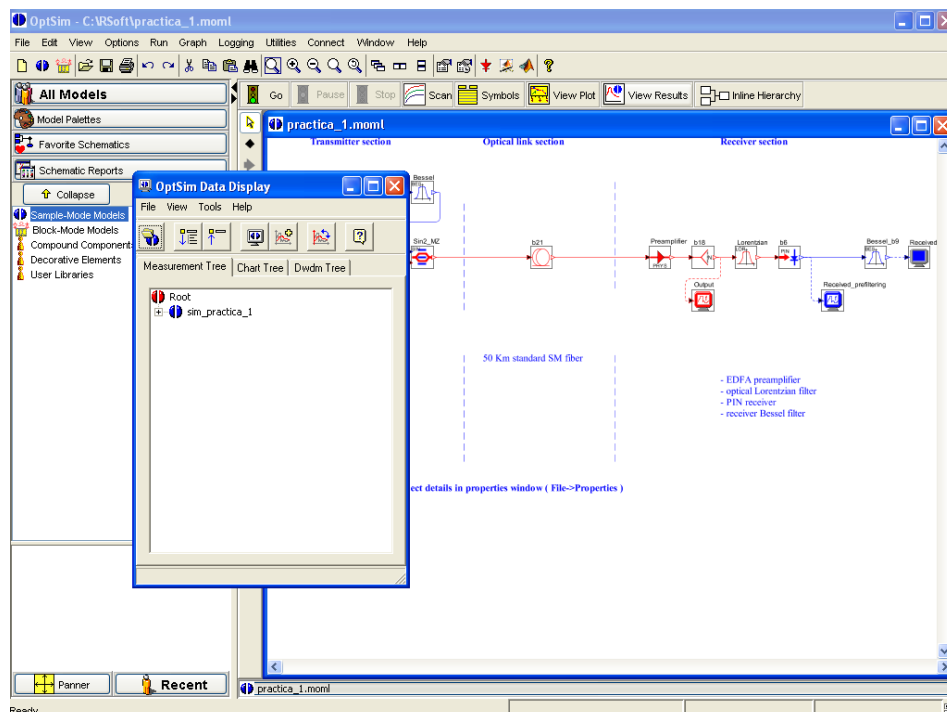
icono

Podremos entonces seleccionar los diferentes parámetros de simulación del sistema en “sample mode”. De ellos, seleccionando la pestaña “time domain”, se podrán introducir los valores superior en inferior del ancho de banda óptico de simulación. Para el caso que nos ocupa, son los que aparecen en la figura:

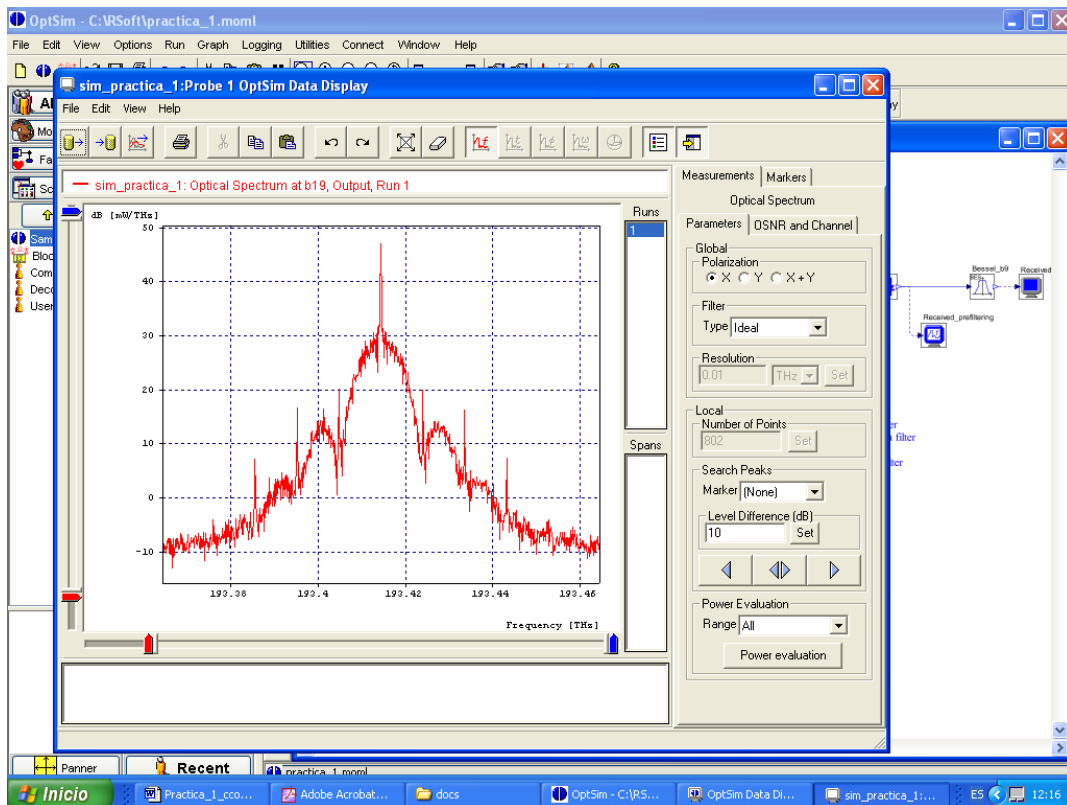


Estos parámetros de simulación nos serán solicitados cuando iniciemos un sistema nuevo. Habrá que adaptarlos al sistema que pretendamos simular.

Iniciaremos la simulación pinchando sobre “Star Single Run”. Una vez finalizada la simulación, podemos ver los resultados pulsando sobre “View results”, apareciendo:



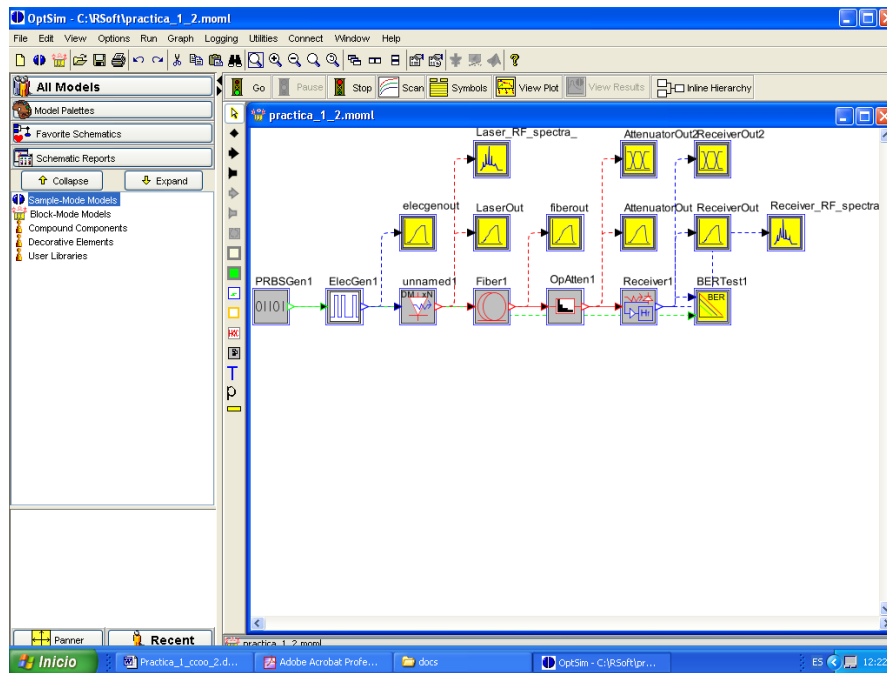
pulsando sobre el signo +, veremos los diferentes componentes de medida, y sobre los diferentes signos +, veremos las diferentes representaciones de cada uno. Para ver el espectro de la señal óptica, pulsaremos dos veces sobre “Run 1” de “optical Spectrum” del componente “output”, mostrándose lo siguiente:



que se representa de color rojo ya que se trata de una señal en el espectro óptico.

1. A partir de este momento, el alumno debe realizar en mismo sistema iniciando un nuevo sistema, lógicamente seleccionando los diferentes componentes y no mediante “copy-paste”. Para ello, seleccionaremos “File → New → Simple-Mode Project. Dándole el nombre que se desee. Se comparará el nuevo sistema con el original de forma que se obtengan los mismos resultados en la simulación. Los diferentes componentes pueden seleccionarse en los “Toolbox”, haciendo doble clic sobre “Simple-Mode Models”.
2. Analice el efecto sobre el espectro óptico al considerar distintos valores de longitud de la fibra y tasas de transmisión binaria.
3. Obtenga el ancho de banda óptico de 3dB de la señal a la entrada al filtro óptico del receptor. Obtenga un valor de ancho de banda distinto variando algún parámetro de la fibra. Justifique su respuesta.
4. Obtenga el ancho de banda eléctrico de 3dB de la señal a la entrada del filtro eléctrico del receptor. Obtenga un valor de ancho de banda distinto variando algún parámetro de la fibra. Justifique su respuesta.
5. Compruebe el efecto de que la señal emitida por la fuente óptica esté chirpeada. ¿Cuál es el efecto que se produce?. Obtenga una configuración en la que se pueda observar este fenómeno.

Para el modo de funcionamiento “Block Mode” se procederá de forma equivalente. En este caso el fichero a utilizar será “practica_1_2.moml”, representado en la figura:



Para iniciar la simulación procederemos de igual forma que en el caso anterior, sin embargo, una vez finalizada, podremos ver los resultados simplemente haciendo doble clic sobre el componente de análisis y representación.

En el modo “Block mode” tenemos disponibles componentes del tipo multimodo “Spatial” mediante los que podrán representar los modos de propagación en un sistema multimodo.

6. Como en el caso anterior, el alumno tendrá que reproducir el sistema en otro nuevo debiendo obtener los mismos resultados en ambos sistemas.



PRÁCTICA 3. ESTUDIO DE LOS EFECTOS NO LINEALES EN FIBRAS ÓPTICAS.

COMUNICACIONES ÓPTICAS 2012-2013.

Departamento Ingeniería de Telecomunicación.
Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones.

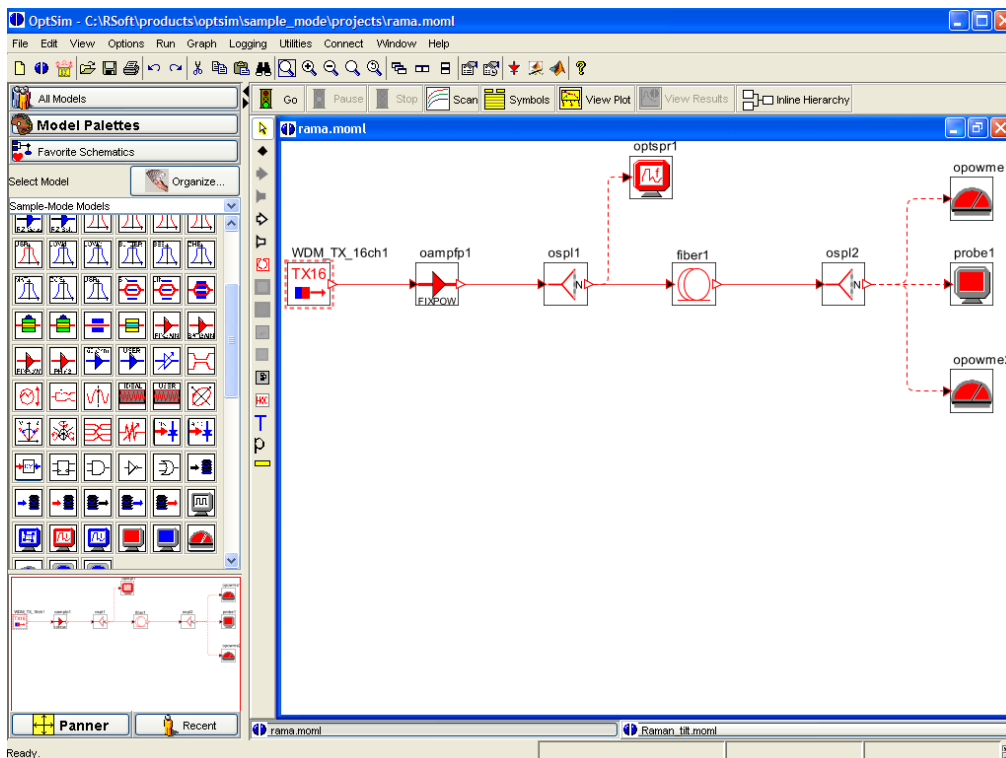
En esta segunda práctica se realizan tres sistemas de transmisión sobre los que se estudian tres efectos no lineales en la transmisión a través de fibra óptica:

- **Efecto Raman (SRS):** Se estudia la calidad de los sistemas afectados por la modulación cruzada (cross-talk) inducida por el Scattering Raman Inducido.
- **Automodulación de fase (SPM):** Se estudia el comportamiento de la automodulación de fase según la potencia óptica.
- **Mezcla de cuatro ondas (FWM):** Se estudia el efecto de la mezcla de cuatro ondas en función de la potencia óptica.

A continuación se proponen diferentes esquemas para el estudio de cada uno de estos efectos.

Efecto Raman

Para el estudio del efecto raman en las fibras se realiza el sistema (sample-mode) representado en la figura.



donde se representa un transmisor de 16 canales sobre un fibra estandar monomodo. Todos los canales se modulan con NRZ y una velocidad binaria de 10 Gbps. El espaciado entre canales es de 100 Mhz con un ancho de banda para todos los canales de 12 nm. La potencia total introducida en a fibra es de 20.5 dBm. El efecto raman produce una redistribución de la potencia entre los canales de frecuencias más altas y más bajas, esto es, cada par de canales interactúan como “señal” o como “pump” (sumador de potencia). La cantidad de la potencia transferida depende del espaciado entre canales, potencia de entrada de la señal y el coeficiente de ganancia Raman. Idealmente es necesario conocer la dependencia espectral de dicho coeficiente obtenida a través de medidas o de la hoja de características de la fibra. Si no se dispone de dichos datos, se puede aproximar por una dependencia lineal o Lorentziana y especificarla con coeficiente de ganancia de pico, llamado frecuentemente como coeficiente de ganancia Raman g_R . Para ver el efecto para diferentes valores de dicha constante, se puede introducir un coeficiente de escalado que multiplicará al valor estandar del coeficiente.

Una vez establecidas las condiciones, comenzaremos por formar el sistema representado. Para ello habrá que establecer los valores de las variables de simulación (Edit .. Simulation parametres edit) según los valores siguientes:

Dominio del tiempo:

- Límite inferior del ancho de banda de simulación VBS: 190.7 Thz.
- Límite superior del ancho de banda de simulación VBS: 192.3 Thz.
- Bit rate de referencia: 10 Gbps
- Ventana de tiempo total simulada: 51.2 ns.

El resto de parámetros se calculan de forma automática.

Los parámetros para los diferentes componentes son:

Transmisor de 16 canales (WDM_TX_16ch1), las variables serán:

- frecuencia central: 191.5 Thz
- Resto: por defecto.

Amplificador (aompfp1):

- Potencia de salida: 20.5 dBm.
- Resto: por defecto.

Analizador de espectro (optspr1)

- Divisor óptico

Fibra (fiber1):

- Longitud: 18 km.
- Constante de raman: tomará valores entre 0.1 y 1.0.
- Resto: por defecto.

Optical Splitter (ospl2)

Medidor de espectros (optspr1)

- 1600 puntos en espectro en simulación

Medidor (probe1):

- Ventana temporal de medida: completa (whole).

Medidores de potencia por canales (opowme2):

- Ancho de banda de medida: limitado.
- Frecuencia central: frecuencia central canal superior e inferior

TRABAJO A REALIZAR:

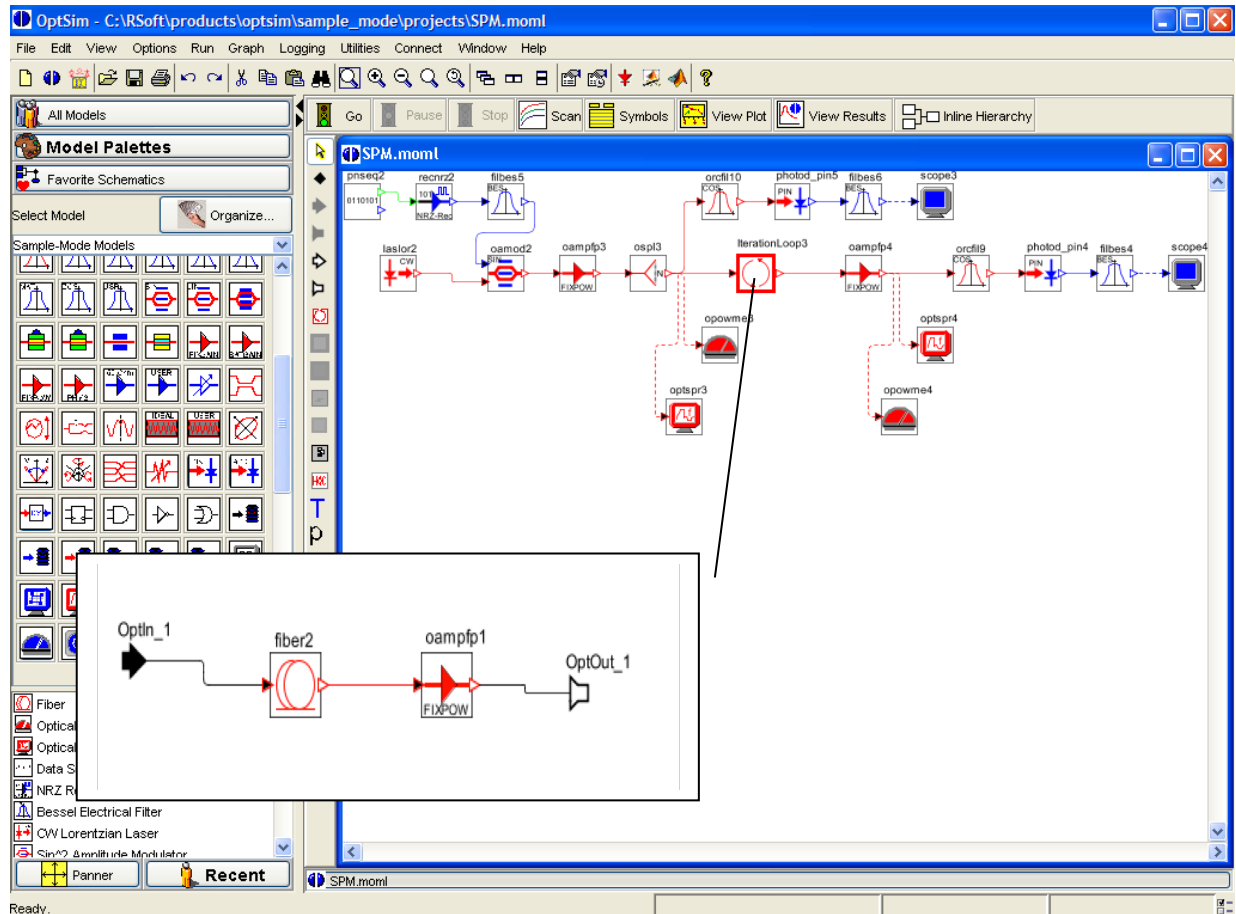
- Con los parámetros anteriores se realizarán simulaciones con al cuatro valores de la constante raman observando el efecto producido en el sistema WDM. Realizando medidas sobre las gráficas tanto en espectro como medidores de potencia. Razone los resultados.

Nota: Para los diferentes valores de la constante de raman puede ser conveniente la simulación paramétrica.

- Tome un valor de dicha constante determinado distinto de cero. ¿Qué parámetros del sistema variará para que no se produzca el efecto?. Indique los problemas asociados a dichos cambios.

Automodulación de fase (SPM)

Para el estudio del efecto de automodulación de fase en las fibras se realiza el sistema (sample-mode) representado en la figura.



Se establecen los valores de las variables de simulación (Edit .. Simulation parameters edit) según los valores siguientes:

Dominio del tiempo:

- Límite inferior del ancho de banda de simulación VBS: 192.9 THz.
- Límite superior del ancho de banda de simulación VBS: 193.1 THz.
- Bit rate de referencia: 10 Gbps
- Ventana de tiempo total simulada: 51.2 ns.

El resto de parámetros se calculan de forma automática.

Generador pseudaleatorio:

Bit_rate: 10 Gbps.
Modo: Manual.
Grado: 9

Driver NRZ:

Nivel bajo: -2.5
Nivel alto: 2.5

Filtro eléctrico de Bessel:

Tipo: Paso-bajo

Nº polos: 5

Láser:

Frecuencia: 193.0 Thz.

Modulador de amplitud:

Offset Maximo de transmisibilidad: 2.5

Amplificador 3 y 1:

Potencia: variable: 10 dBm, 12.5 dBm, 15 dBm, 17.5 dBm.

Ruido: Off.

El preamplificador de recepción 4 que tiene potencia de salida de 10 dBm.

Filtro óptico coseno alzado:

Tipo: paso-banda.

Exponente: 1.

Roll-off: 0.

Frecuencia central: 193 Thz.

BW: 20 Ghz.

Diodo PIN:

Frecuencia central: 193 Thz.

BW: 40 Ghz.

Filtro eléctrico en recepción:

Tipo: paso-bajo.

Orden: 5

BW: 0.8×10 Ghz.

Medidor de potencia:

BW de medida: Limitado

BW: 20 Ghz.

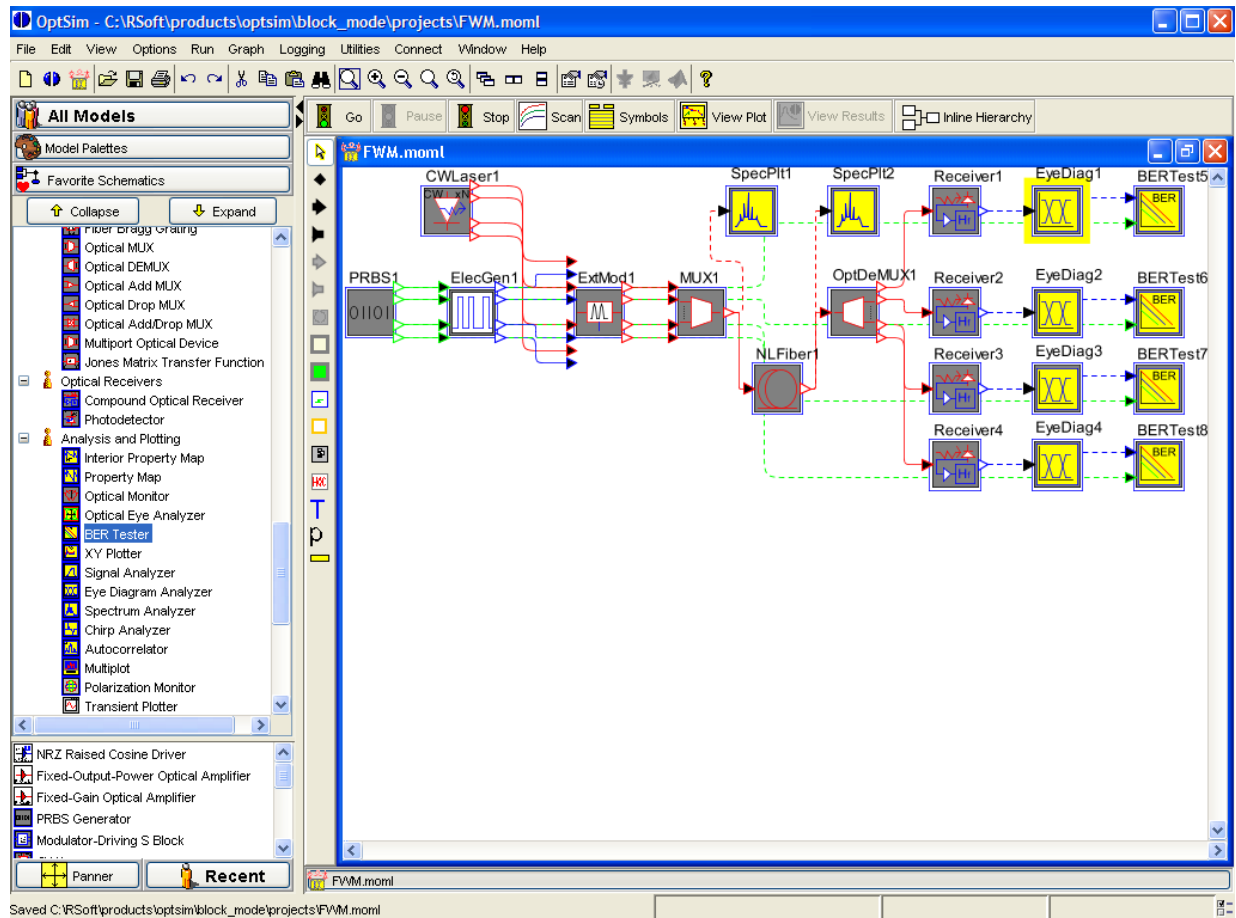
Como se aprecia en la figura, el lazo de iteración incluye una fibra de longitud 55 Km. El amplificador incluido es igual al incluido en la línea.

TRABAJO A REALIZAR:

- Con los parámetros indicados con los diferentes valores de potencia analice el efecto SPM mediante el análisis de diagramas de ojo y mediante análisis espectral.
- Explique qué parámetro de la fibra podría modificar para contrarrestar este efecto y proponga una configuración específica mostrando los resultados.

Mezcla de cuatro ondas (FWM)

Para el estudio de la mezcla de cuatro ondas se implementa el siguiente sistema. En este caso se realizará mediante “Block mode”, dejando los parámetros de simulación por defecto.



En este caso el transmisor consta de un generador de bits con secuencia pseudoaleatoria de cuatro canales, una fuente láser continua de cuatro canales, un modulador externo de cuatro canales y un multiplexor de cuatro entradas. Los canales se transmiten a través de una fibra de 95 km, siendo demultiplexados y recibidos de forma independiente.

Se realizarán simulaciones variando la potencia de transmisión (5 y 15 mW) y el espaciado de canales (50 GHz y 100 GHz ó 0.4 nm y 0.8 nm). Para ello deben considerarse los siguientes parámetros para cada bloque:

Generador PBRS:

Bit rate: 10 Gbps.

Láser:

Potencia: 5 y 15 mW
Deltafreq: 0.4 y 0.8 nm
Mode: LambdaGrid.
NoSources: 4

OptMUX1:

Representation: singleband.

Fibra No Lineal:

General:

Longitud: 95 km.

Numerical:

zStepsize: 1000

PMD, Raman y SBS: off.

Analizador de espectro:

Filtering:

Filtertype: Gaussian

BW: 5 Ghz

Filterorder: 2

OptDerMux:

Filterorder: 3

Filterspacing: 0.4 y 0.8 nm.

Receiver:

Filter:

Flttype: LPbessel

Eyediagram:

Eye_mode: contour.

BERTest:

Alignbinaries: yes.

En caso de realizar simulaciones paramétricas, deben introducirse las siguientes opciones en Scan Parameters:

	Inner loop variable:	outer loop variable:
	canalización	potencia
iteration meta pre	"spac"	"pow"
Scan Meta prefix	""	

TRABAJO A REALIZAR:

- Indicar el peor caso (potencia y canalización) y canal para el sistema. Presente gráficas de espectro y valores de BER obtenidos.

Nota: Las representaciones paramétricas en potencia pueden ser convenientes.

Nota: Adjuntos a la memoria de todas las prácticas debe entregar los ficheros fuente.

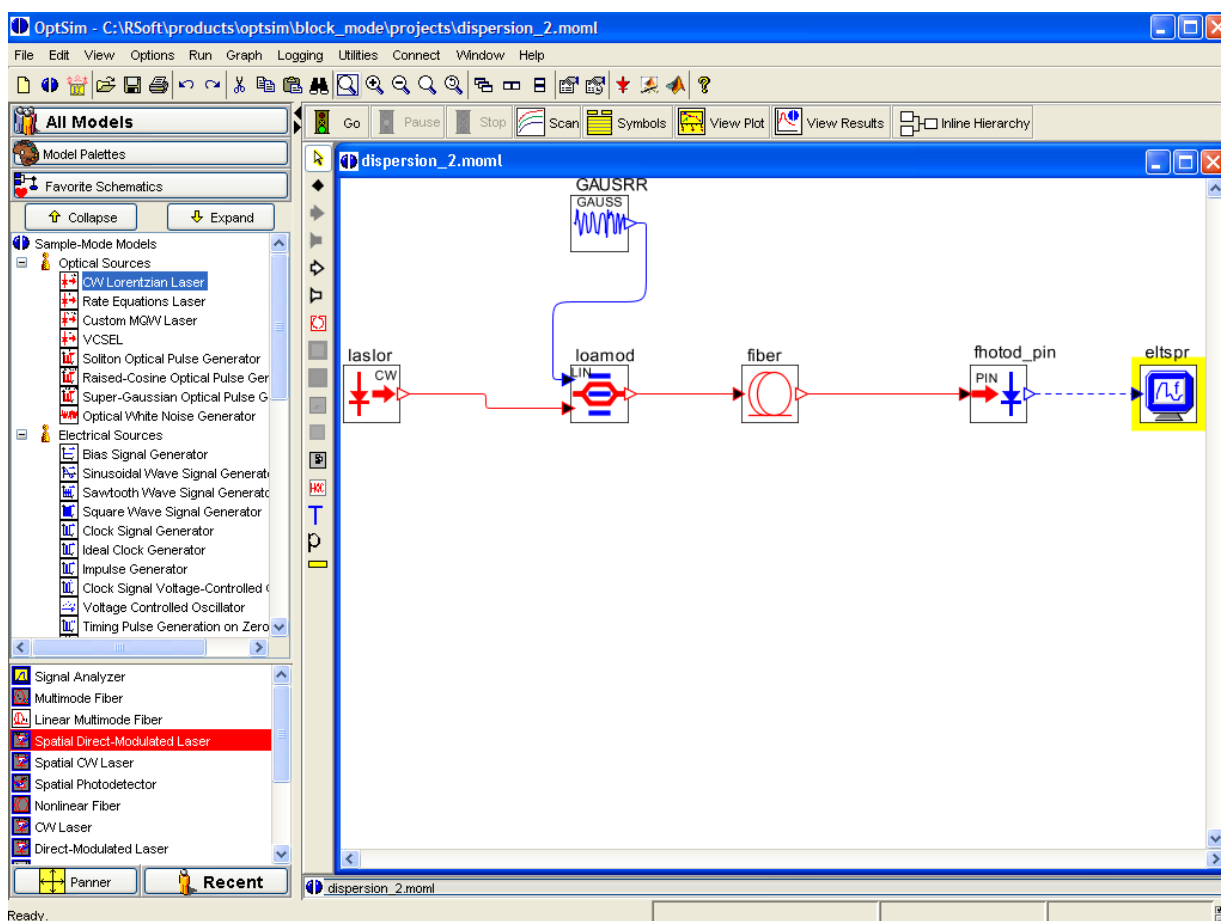


PRÁCTICA 4. MEDIDA DE LA DISPERSIÓN EN FIBRA ÓPTICAS MEDIANTE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA ELÉCTRICA.

COMUNICACIONES ÓPTICAS 2012-2013.

Departamento Ingeniería de Telecomunicación.
Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones.

Para la medida de la dispersión media en un enlace de fibra, existen varios métodos. Algunos de ellos se basan en la medida del ensanchamiento del pulso, lo que supone la medida temporal del mismo. El método propuesto es simple y se basa en la medida de la función de transferencia del enlace. Para ello se utiliza el sistema representado en la figura, donde se modula externamente un diodo láser de onda continua con un generador de ruido eléctrico. El modulador produce chirp que también puede medirse mediante este método.



La respuesta obtenida para el caso de una fibra monomodo es el representado en la figura siguiente, que representa la respuesta en frecuencia del sistema de transmisión implementado con la fibra bajo prueba puede obtenerse que vale:

$$I_f = I_0 m \sqrt{1 + C^2} \left| \cos \left(\frac{\pi \lambda^2 L f^2}{c} + \arctg(C) \right) \right|$$

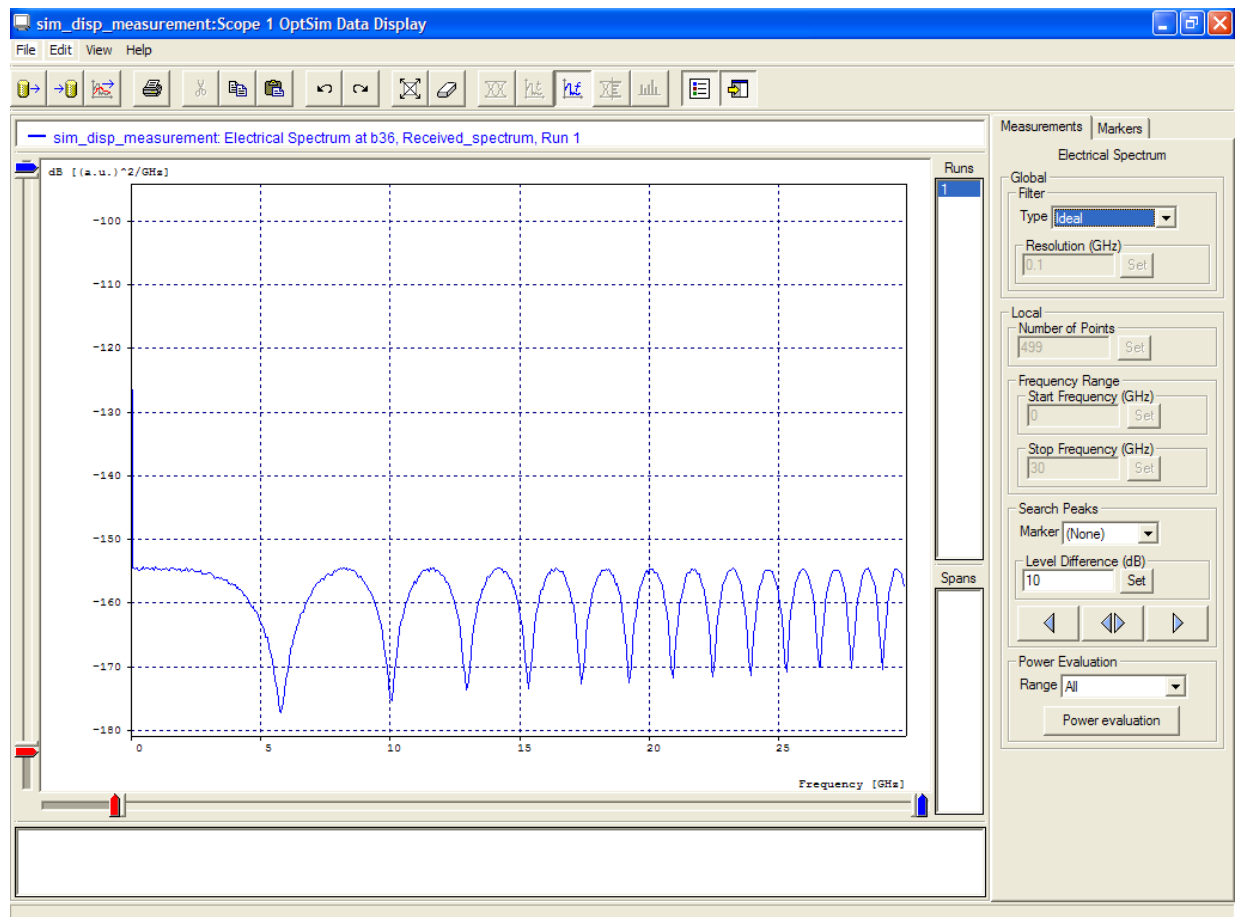
Las frecuencias de resonancia f_u representadas en la figura corresponden a los u^{esimo} ceros de la expresión anterior.

Dichos ceros siguen una ley simple:

$$f_u^2 L = \frac{c}{2D\lambda^2} \left(1 + 2u - \frac{2}{\pi} \arctg(C) \right)$$

que es el resultado de dos interferencias simultáneas entre la portadora y las dos bandas laterales.

Si se dibuja $f_u^2 L$ en función de $2u$, se obtiene casi una recta cuya posición y pendiente calculan el parámetro de chirp y la dispersión.



Inicialmente, la longitud de onda de trabajo será de 1550 nm y 5 mW de potencia.

Para el modulador lineal de amplitud se suponen unas pérdidas en exceso de 6 dB y un 20% de transmisión e inicialmente consideramos el factor de chirp nulo.

Para el generador de ruido gaussiano se tomarán los parámetros.

Media: 2,5.

BW:0.065 THz.

Desviación estandar: 0.1

La longitud del enlace será inicialmente de 100Km, poniendo el “off” la no linealidad de la fibra en “Advanced Control”

Los parámetros de simulación deben ser:

VBS Bandwidth: 0.52 THz.
Bit rate de referencia: 20 Gbps.
Ventana de simulación: 8192 ns
Fotodiodo: single-pole electrical filtering “Off”
Quantum noise=”Off”
FWHM láser: 0.

TRABAJO A REALIZAR:

1. Inicialmente se calculará la dispersión teórica media de la fibra por defecto, a partir del primer nulo de la función de transferencia. Justifique si los resultados son coherentes a lo simulado.
2. Variando el valor de la longitud, comprobar la relación entre ésta y la dispersión (tome al menos 5 valores distintos). Justifique la respuesta.
3. Cambiar el coeficiente de dispersión de la fibra a cero y realizar los mismos cálculos anteriores para las distintas longitudes. Proponga alguna cambio en la forma de transmisión que permitiera conseguir un resultado similar según lo estudiado en clase.

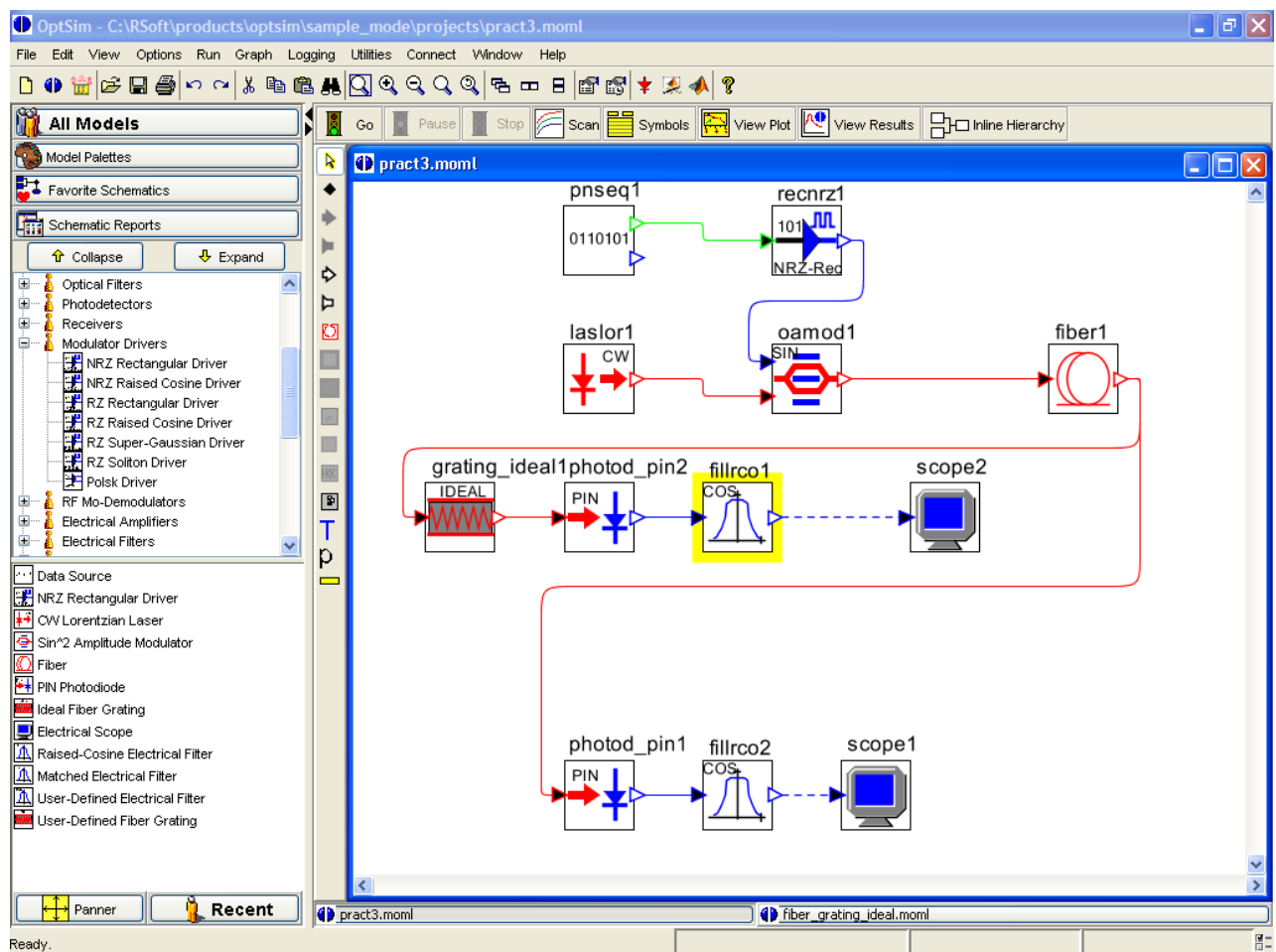


PRÁCTICA 5. REDES DE BRAGG COMO COMPENSADORES DE LA DISPERSIÓN.

COMUNICACIONES ÓPTICAS 2012-2013.

Departamento Ingeniería de Telecomunicación.
Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones.

Para la compensación de la dispersión se pueden utilizar las fibras con redes de Bragg, las cuales introducen un retardo contrario entre las altas y bajas frecuencias al producido por la dispersión cromática en las fibra monomodo. Para observar el efecto de dichas fibras, se propone el sistema de la figura, con el cual se podrán observar las señales eléctricas con y sin compensación de la dispersión, sobre las que se mide la BER para cada situación. La longitud del enlace será de 200 km en primer lugar y 100km en segundo lugar de fibra monomodo estándar en la que se eliminan el scattering estimulado Brillouin (SBS) y los controles avanzados.



Como parámetros iniciales para la simulación se tomará un ancho de banda VBS de 10 nm y un “time span” de 50 ns.

Considerar que la señal se recupera correctamente cuando la $BER < 10^{-9}$.

TRABAJO A REALIZAR:

1. Calcular e introducir los valores necesarios en el componente “grating ideal” (dispersión y pendiente de dispersión), de forma que la dispersión producida en el enlace quede suficientemente compensada para que la señal pueda recuperarse.
2. Comprobar el efecto de colocar dicho componente al inicio del enlace (antes de la fibra) en vez de al final del mismo.
3. Sustituir el driver modulador NRZ por uno RZ. Compruebe el efecto de dicho cambio. Explique los resultados.
4. Volviendo a la situación inicial, (NRZ), se desea eliminar los filtros de recepción para abaratar costes. Comprobar el efecto producido al eliminar dichos filtros.